

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL CIERRE DE MINA DE LOS PASIVOS
AMBIENTALES DE LA EX UNIDAD MINERA SAN FRANCISCO - DISTRITO DE
HUALLANCA - ANCASH.”**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

BR. MARY ESTEFFANY NAVARRO VILLEGAS

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
ESTUDIO GEOMECANICO**

PIURA - PERÚ

2019


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

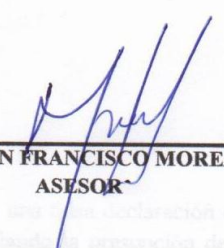


TESIS

**“ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL CIERRE DE MINA DE LOS PASIVOS
AMBIENTALES DE LA EX UNIDAD MINERA SAN FRANCISCO - DISTRITO DE
HUALLANCA - ANCASH.”**

PRESENTADA POR:


BR. MARY ESTEFFANY NAVARRO VILLEGAS
EJECUTORA


DR. ING. JUAN FRANCISCO MOREANO SEGOVIA
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

Yo: Mary Esteffany Navarro Villegas, identificado con CU/DNI N°, 0612012060/71460068

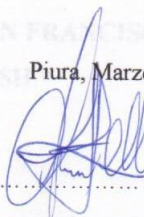
Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería de Minas y

Domiciliado en la Asent.H Jacobo Cruz Villegas Mz.F Lte.2 del Distrito de Catacaos, Provincia de Piura, Departamento de Piura, Celular 948886885, Email: mary_94.n.v@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art.º 411, del código penal concordante con el Art.32 de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos del Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, Marzo del 2019



Mary Esteffany Navarro Villegas

DNI N° 71460068

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO POR:

DR. ING. HIPOLITO TUMI CHAPA

PRESIDENTE

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con los hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por la ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016 – SUNEDU/CD

ING. WALTER HUMERES RIVEROS, M.Sc.

VOCAL

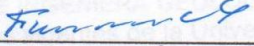
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL CIERRE DE MINA DE LOS PASIVOS
AMBIENTALES DE LA EX UNIDAD MINERA SAN FRANCISCO - DISTRITO DE
HUALLANCA - ANCASH.”**

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO POR:


DR. ING. HIPÓLITO TUME CHAPA
PRESIDENTE


DR. ING. WILSON GERÓNIMO SANCARRANCO CÓRDOVA
SECRETARIO


ING. WALTER UMERES RIVEROS, M.SC.
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

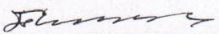
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

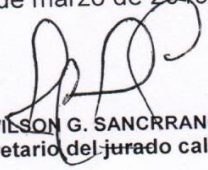
Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 119-CF-2019, de fecha trece de febrero de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día viernes quince de marzo de dos mil diecinueve, a horas 12:00 m., en el aula del PROMAINA - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada **"ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL CIERRE DE MINA DE LOS PASIVOS AMBIENTALES DE LA EX UNIDAD MINERA SAN FRANCISCO - DISTRITO DE HUALLANCA-ANCASH"**, conducida por la Señorita Bachiller en Ingeniería Geológica **NAVARRO VILLEGAS, MARY ESTEFFANY**, la misma que cuenta con el asesoramiento del Dr. Ing° **Juan F. Moreano Segovia**. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, la declaran:

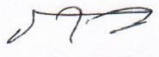
DESAPROBADA	A P R O B A D A			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	X -----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificada **APTA** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA GEÓLOGA**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 15 de marzo de 2019.


DR. ING° HIPÓLITO TUME CHAPA
Presidente del jurado calificador


DR. ING° WILSON G. SANCRRANCO CÓRDOVA
Secretario del jurado calificador


DR. ING° WALTER UMERES RIVEROS
Vocal del Jurado Calificador.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi Padre amado, Yahvé, gracias por la vida, por todas las bendiciones que me das día a día, por el regalo más hermoso que me has dado, mi familia.

A mis padres, Teobaldo Navarro Uchofen, por luchar junto conmigo para verme realizar mis sueños y metas, has trabajado duro y sin importar si llegabas cansado del trabajo, siempre estabas ahí, dispuesto a darme la mano, por estar conmigo en cada momento en mi vida, y Rosa Adela Villegas Valladares, por su amor y apoyo incondicional, por mostrarme el camino a la superación. Por ser mi fortaleza y mostrarme el camino correcto. Por creer en mí, las ayudas que me han brindado han formado bases de gran importancia, son lo más grande que tengo, a ustedes este logro.

A mi hijo, por ser mi mayor alegría, por motivarme a ser cada vez mejor por el amor infinito hacia él.

A mis hermanos por estar presentes en cada caída y triunfo, por ser mis compañeros que me ayudan a seguir.

A Roberto Martin Albán Zapata, por ayudarme a dar este paso mas en mi camino juntos.

A Dante Ulises Llanos Caycho por haber creído en mí, por su ayuda incondicional y sus grandes enseñanzas. Y a todas las personas que me han apoyado a que este sueño se haga realidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Piura por formarme e instruirme, gracias a grandes docentes que me brindaron conocimientos básicos para poder aplicarlo a lo largo de mi carrera.

A mi asesor, Dr.Ing. Juan Francisco Moreano Segovia por ayudarme e instruirme en este proyecto.

A todas las personas que de una u otra forma han sido pieza clave para que este proyecto pueda concretarse.

RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1	Introducción.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Ubicación y acceso.....	1

CAPITULO II: CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL PUNTO DE INVESTIGACION.

2.	Geología.....	3
2.1.	Marco Regional.....	3
2.1.1.	Geomorfología.....	3
2.1.2.	Geología.....	4
2.1.3.	Rocas intrusivas.....	8
2.1.4.	Geología Estructural.....	9
2.2.	Marco Local.....	11
2.2.1.	Geomorfología.....	11
2.2.2.	Geología.....	12
2.2.3.	Geología Estructural.....	13
2.2.4.	Procesos Geodinámica.....	14

CAPITULO III. GEOMECANICA

3.1.	Registro Geomecanico de Labor Minera.....	18
3.2	Análisis de clasificación del macizo rocoso de bocaminas.- Bieniaswski 1989...	22
3.3.	Valores de resistencia obtenido con Martillo de Schmidt.....	24
3.4.	Maapeo geomecanico a labores mineras.....	24

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Resultados de ensayos de laboratorio.....	25
4.2.	Residuos mineros.....	25
4.3.	Labores mineras.....	25

CONCLUSIONES.....28

RECOMENDACIONES28

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....28

ANEXOS

- Índice de tablas
- Índice de Gráficos
- Índice de Figuras
- Índice de Anexos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ruta a San Francisco	2
Tabla 2 Litología y Suceptibilidad	10
Tabla 3 Clasificacion de pendientes y suceptibilidad.....	15
Tabla 4 Suceptibilidad de la litologia a los movimientos en masa.....	16
Tabla 5 Labores Mineras San Francisco	18
Tabla 6 Dureza de roca intacta según ISRM	19
Tabla 7 Clasificacion del grado de meteorizacion según ISRM	20
Tabla 8 Clasificacion Geomecanica de Bieniaswski (1989)	20
Tabla 9 Correccion por orientacion de diaclasas)	21
Tabla 10 Clasificacion.....	21
Tabla 11 Labores Mineras San Francisco	21
Tabla 12 Labor Minera.....	22
Tabla 13 Valores de Resistencia.....	23
Tabla 14 Ensayo de laboratorio en residuos Mineros San Francisco	25
Tabla 21 Ensayo de laboratotio en labores mineras San Francisco.....	25

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Plano de ubicación de la zona de estudio.....	2
Ilustración 2 Geología regional zona San Francisco. Fuente Ingemmet hoja 20 j - La Unión.	7
Ilustración 3 Columna estratigráfica Regional.....	8
Ilustración 4 Bocamina.....	25

ANEXOS

Anexo A: Geomecánica

Anexo B: Laboratorio

Anexo C: Planos

Anexo D: Panel fotográfico

RESUMEN

La existencia de pasivos ambientales mineros genera grave daño tanto en la salud de las personas como en el ambiente, además de darle mala imagen a la minería.

Por lo tanto, se plantean estrategias para mitigar posibles daños que puede causar este PAM y así poder preservar la salud de las personas y el ecosistema.

El trabajo de investigación realizado en la unidad minera San Francisco, distrito de Huallanca, Ancash, tiene como fin demostrar la gran utilidad de la aplicación de la geomecánica en la actualización del plan de cierre; ya que ayudaría a identificar los tipos de materiales, además de verificar sus condiciones actuales, encontrando en la información estructural recolectada, valores que nos ayuden a determinar la calidad del macizo y buscar métodos para la estabilidad de la roca y diseñar la solución correcta para el cierre de las labores mineras y así no generar ningún tipo de contaminación que pueda afectar a la población como al ambiente.

Así mismo se llevó a cabo un programa que involucra las etapas de recopilación de información, tanto de gabinete como de campo, investigación y procesamiento de información en campo y finalmente realizar los análisis y ver las soluciones en gabinete, en el área de geología y geomecánica para poder evaluar las diferentes características de los PAMs.

ABSTRAC

The existence of mining environmental liabilities generates serious damage both to the health of people and the environment, in addition to giving a bad image to mining.

Therefore, strategies are proposed to mitigate possible damages that this PAM can cause and thus preserve the health of people and the ecosystem.

The research work carried out in the San Francisco mining unit, district of Huallanca, Ancash, aims to demonstrate the great utility of the application of geomechanics in the updating of the closure plan; since it would help to identify the types of materials, in addition to checking their current conditions, finding in the collected structural information, values that help us determine the quality of the massif and find methods for the stability of the rock and design the correct solution for the closure of the mining works and thus not generate any kind of pollution that may affect the population or the environment.

Likewise, a program was carried out that involves the stages of information gathering, both in the field and in the field, research and information processing in the field and finally perform the analyzes and see the solutions in the cabinet, in the area of geology and geomechanics to be able to evaluate the different characteristics of the PAMs.

INTRODUCCION

Según la ley 28271 “ley que regula los planes de cierre de pasivos ambientales mineros” modificada por la ley 28526, establece que los responsables de los pasivos ambientales mineros que no desarrollen operaciones mineras y mantienen el derecho a la titularidad de concesion deben elaborar y presentar sus respectivos planes de cierre.

El trabajo de investigacion tiene como fin demostrar la gran utilidad de la aplicación de la geomecanica en la actualizacion del plan de cierre.

En caso de labores mineras subteraneas se debe proporcionar metodos para el cierre y clausura de las aperturas a superficie.

Describir las medidas propuestas para estabilizar los pilares corona, tales como relleno, voladura, cubierta de concreto, etc. (señalando metodos de analisis de estabilidad, prueba y caracterizacion de materiales).

En la evaluacion se realizó el trabajo de campo para hacer los estudios necesarios para la actualización del plan de cierre, se realizó el registro de datos geológicos y geomecánicos de las labores mineras existentes (bocaminas) en la ex unidad minera San Francisco.

Para la elaboracion del estudio de actualización del plan de cierre de pasivos ambientales mineros (bocaminas) se programó la evaluacion de las diferentes labores mineras encontradas realizando mapeo geológico –geomecánico, con toma de muestras para analisis de laboratorio

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo de investigación, se realizó el trabajo de campo y de gabinete, para realizar el estudio de la actualización del plan de cierre, para tal se realizó el registro de datos geológicos y geomecánicos en la zona sur, la cual está conformado por la ex unidad minera San Francisco.

Para la realización del estudio, se programó realizar un mapeo geológico –geomecánico para determinar así el comportamiento y calidad de la roca, basándonos en diferentes parámetros geomecánicos.

El presente informe detalla la geología y geomecánica de los diferentes pasivos ambientales ubicados en la ex unidad minera ubicada en la zona sur (San Francisco).

1.2 OBJETIVOS

El presente informe trata de definir mejor las condiciones geológicas y geomecánicas de los diferentes tipos de rocas y poder determinar sus distintos parámetros físicos.

Detalla la caracterización geológica del pasivo ambiental ubicado en la ex unidad minera en la zona sur (San Francisco), tales como labores mineras (bocaminas, tajos), residuos mineros (depositos de desmonte, relaveras) e infraestructuras (edificaciones).

Además de realizar una evaluación geomecánica con fines de cumplir los objetivos de plan de cierre, que son obtener parámetros reales de calidad de la roca que compone las labores de la unidad minera del pasivo ambiental. Y así mitigar daños que la existencia de pasivos ambientales mineros puedan generar, tanto a la salud de las personas como al ambiente.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESO

La zona de estudio se ubica en el departamento de Ancash, provincia de Bolognesi y distrito de Huallanca.

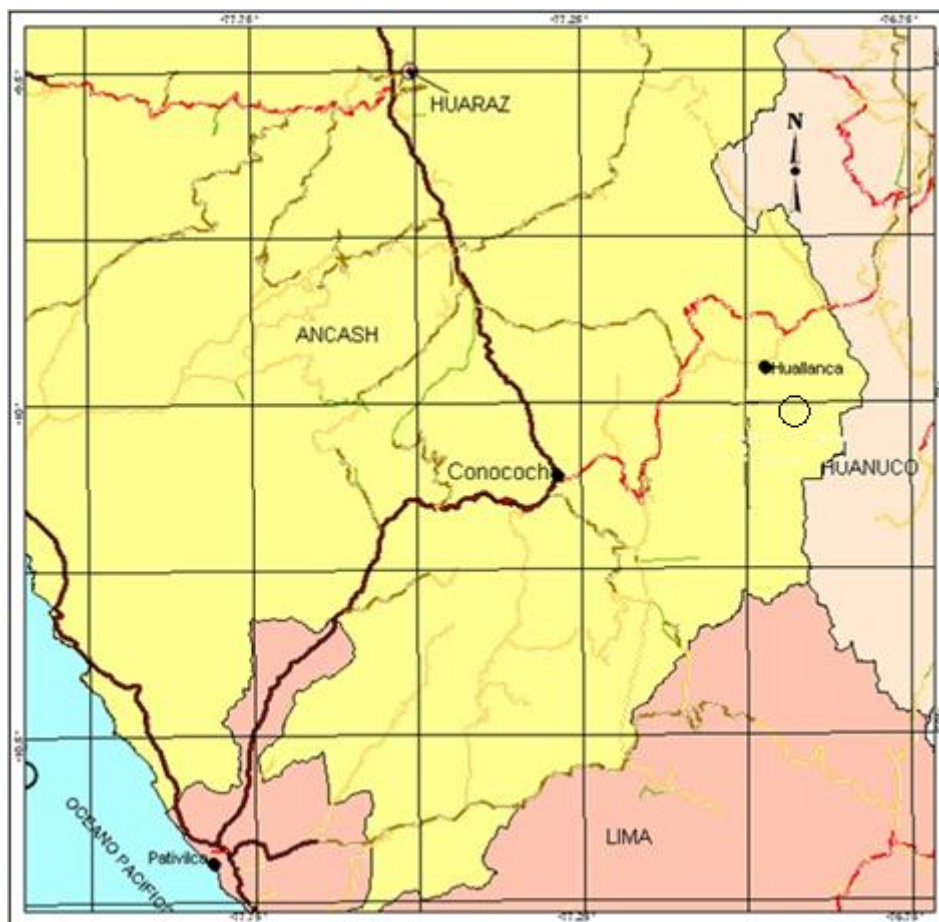
La manera de llegar a estas se detalla en los cuadros a continuación:

Tabla N°1: Ruta de acceso

Ruta	Km	Tipo de vía	Horas de viaje
Lima - Pativilca	205	Asfalto	3
Pativilca – Conococha	115	Asfalto	1.5
Conococha – desvío Antamina	85	Asfalto	2.5
Desvío Antamina - Huallanca	15	Carrozable	0.5
Huallanca – ex UM San Francisco	15	Carrozable	1

La ex unidad minera San Francisco 2 se encuentra dentro de la comunidad de Mercedes, limitado por las laderas de los cerros Ventanilla y Santa Cruz.

FIGURA N°1: Plano de ubicación de la zona de estudio.



CAPITULO II. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL PUNTO DE INVESTIGACION.

2. GEOLOGIA

La zona de estudio está ubicada dentro de los cuadrángulos geológicos de La Unión 20j y de Yanahuanca 21j, para lo cual se ha usado la bibliografía del INGEMMET, boletín 76, “Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca.

2.1. MARCO REGIONAL

Los cuadrángulos de La Unión y Yanahuanca, comprenden parte del flanco pacífico hasta la Cordillera Oriental ubicada al Este del río Marañón, incluyendo las Cordilleras Negra, Blanca y de Huayhuash cuya morfología es variada, pasando grandes llanuras aluviales a cañones profundos, valles interandinos y nevados muy altos como el Yerupaja.

2.1.1. Geomorfología.

La geomorfología está conformada por extensas áreas de alturas andinas, representadas por altas cumbres concordantes, con un patrón de drenaje maduro que fue desarrollado sobre esta superficie y cuando tuvo lugar el levantamiento andino, este fue sobreimpuesto sobre la cadena montañosa. También se reconoció dos periodos de erosión sobre la superficie Puna; el estadio Chacra, un levantamiento a 500m, los estadios de erosión Chacra o Valle generaron goeformas que fueron formadas por una evolución moderada de formas que más tarde han servido para el emplazamiento de poblaciones y áreas de cultivos. El estadio Cañón fue más vigoroso e implicó incisiones entre 1000 a 2000 m que fueron cortados en ambos, la superficie Puna y el estadio Valle, formando relieves accidentados en los flancos de las cordilleras. (boletín Ingemmet cuadrangulos 20h, 20i, 20j, 20i, 20j, 21i, 21j).

La delimitación de las unidades geomorfológicas determinaron tipos del relieve en función a su altura relativa diferenciándose en planicies, colinas, lomas, piedemontes y montañas. Esto dependió además de la pendiente y el control estructural de sus laderas y la caracterización de las diferentes unidades de la litología.

Se detallan a continuación las diferentes unidades geomorfológicas:

- Montañas.

Tienen una amplia distribución, se reconocen como cumbres y estribaciones o laderas modeladas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.)

Conforman alineamientos alargados con dirección Andina que sobrepasan los 300 m sobre el nivel local, constituidos por rocas intrusivas, volcánico-sedimentarias y sedimentarias, con diferentes estados de meteorización superficial y de erosión.

- **Colinas y lomadas.**

Representadas por elevaciones de bajo relieve y alineamientos estructurales de relieve complejo, difieren grados de disección y alturas que oscilan entre 50 y 300 m desde el nivel de base local, con pendientes mayores a 7°. Se asocian principalmente a rocas de naturaleza principalmente sedimentaria (Paleozoico a Cenozoico).

- **Piedemontes.**

Son geoformas con acumulación de material detrítico, siendo identificadas por las rupturas o cambios bruscos de pendientes característicos.

- **Planicies.**

Estas geoformas están asociadas a depósitos cuaternarios (aluviales, fluvio-glaciares, marinos y eólicos) limitados muchas veces por depósitos de piedemontes y laderas de montañas o colinas en afloramientos rocosos.

2.1.2. Geología

Las unidades estratigráficas delimitadas en la zona donde están comprendidas a largo de cuencas sedimentarias donde se depositaron independientemente formaciones volcánicas-sedimentarias (cuenca Huarney) con una transición (cuenca del Santa), una zona de miogeosinclinal (cuenca Chavin) y una zona de plataforma (geoanticlinal del Marañón), de las unidades identificadas en la zona de influencia se detallan a continuación:

- **Formación Oyón (Ki-oy):**

Ha sido descrita por Wilson (1963) como secuencia de capas delgadas y oscuras de granos fino de areniscas subgrawacas y lutitas intercaladas con mantos de carbón en alrededores de Oyón.

Esta formación en la zona de estudio se ha registrado como limolitas, lutitas gris oscuras en estratos delgados de 5 a 30 cm intercaladas con areniscas pardos amarillentas, grises y gris clara en estratos gruesos, con las cuales se intercalan niveles de carbón que son explotados irregularmente.

- **Formación Chimú (Ki-chi):**

Las areniscas de cuarzosas que caracterizan a esta formación han sido registradas en la zona de estudio, afloramientos más occidentales han sido cortados por intrusiones del Batolito de la Costa, los afloramientos constituyen núcleos de anticlinales con rumbo NO-SE, tal como se observa al Este de Huacllan-Succha.

La formación Chimú, está conformado de estratos de areniscas blancas y macizas en capas de 1 a 3 m de espesor y en total la secuencia completa puede variar entre 100 m en la parte norte y 600 m al sur.

- **Formación Carhuaz (Ki-ca):**

Sus afloramientos más notorios se encuentran al este de la Cordillera Blanca donde ocurren formando el núcleo de sinclinales. La morfología que caracteriza a esta formación es mas suave en relación a las unidades adyacentes.

La parte superior consiste de limoarcillitas rojas y limolitas pardo gris. El espesor de esta formación normalmente tiene 600 m de espesor, pero hacia el oeste del Callejón de Huaylas se han reportado espesores de mas de 1 500 m (Wilson, J. 1976).

- **Formación Pariahuanca (Ki-ph):**

Las calizas Pariahuanca descansan concordantemente sobre la Formación Farrat o Carhuaz cuando esta ausente la primera, esta formación aflora dentro del miogeosinclinal y no esta presente en el bloque del Marañón.

Esta formación esta conformado por calizas macizas gris azulado en estratos de 1 a 2 m de espesor, algunas veces presenta una apariencia lajosa y cuando esto sucede superficialmente se asemeja a las calizas Santa. Esta formación tiene un espesor de 100 m en la mayor parte de los Andes Centrales, en la zona de la Cordillera de Huayhuash mencionan un espesor mayor a 400 m (Dunin Borowski 1975), hacia el este se observa un adelgazamiento de manera que sobre el bloque del Marañón no es cartografiable.

- **Formación Chulec (Ki-ch):**

Esta formación descansa concordantemente sobre el grupo Goyllarisquizga, tiene un grosor de 100 m, aunque en la zona de estudio se reduce a 50 m aproximadamente.

Litógicamente consisten en mezclas de calizas y margas. Las calizas son macizas con costras amarillas alteradas en capas de 1 m de espesor separadas por margas cremas y grises que se encuentran en estratos que van de 10 a 20 m, la formación es amarilla crema terroso, que sirve para su registro, sin embargo por su reducido grosor no es posible su representación en los planos geológicos.

- **Formación Pariatambo (Ki-pt):**

La formación descansa concordantemente sobre la formación Chulec, tiene un espesor de 100 m, que se mantiene constante, en el eje de la cuenca es ligeramente mas grueso, en la Cordillera Huayhuash alcanza 500 m de espesor, en esta zona representa el mayor grosor.

Litológicamente consiste de margas marrón oscuras que tienen un olor fétido en superficie fresca, calizas marrón oscuro en láminas delgadas que sobresalen como miembros resistentes. Usualmente un paquete de calizas es separada por 10 m de margas. Son frecuentes las intercalaciones de calizas en estratos delgados con limoarcillitas calcáreas gris oscura que contienen restos de ammonites.

- **Depósitos aluviales (Q-al):**

Estos depósitos estan conformados por extensas llanuras aluviales y terrazas a diferentes niveles sobre valles y atributos mayores, estan semiconsolidados algunos de ellos presentan cierto grado de consolidación, erosionados por los cauces actuales.

Estos depósitos corresponden a una mezcla heterogénea de bolones, gravas y arenas redondeadas a subredondeadas, además de limos y arcillas, estos materiales tienen una selección de regular a buena, presentando niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Son susceptibles a la erosión fluvial

(socavamiento en el pie de terraza), algunos derrumbes y hasta deslizamientos cuando se encuentran conformando márgenes de ríos y quebradas.

- **Depósitos glaciofluviales (Q-glf):**

Están conformados por materiales de morrenas que han sufrido removilización por acción fluvial o por gravedad, generalmente compuestos por material heterométrico que consiste en gravas subredondeadas en matriz arenolimsa, medianamente compactos.

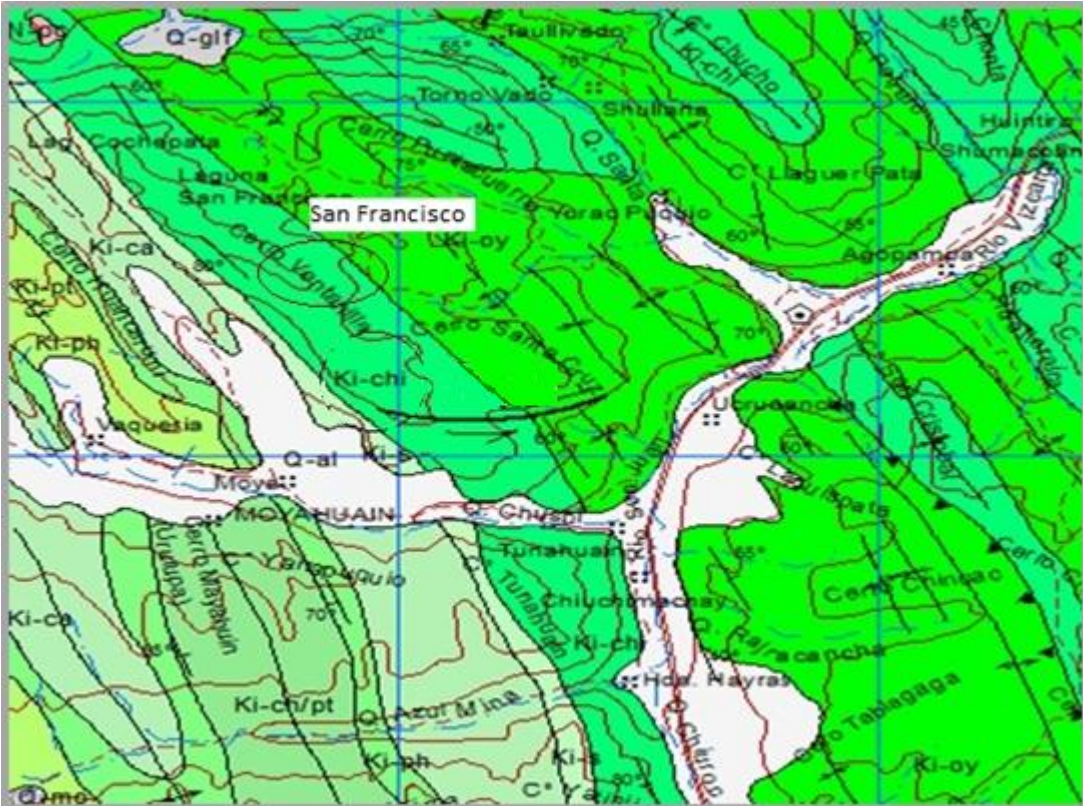
Ocupan laderas de montañas en zona de glaciales, relleno los valles glaciares y en frentes de montañas, generalmente en forma de talus de detritos. Son susceptibles a la erosión de laderas, los derrumbes y deslizamientos por acción de aguas superficiales y de infiltración.

- **Depósitos morrenicos (Q-glf):**

Están conformados por materiales situados en márgenes de quebradas en forma elongada compuestos por material heterométrico que consiste en gravas subredondeadas en matriz limo-arcillosa, medianamente compactos.


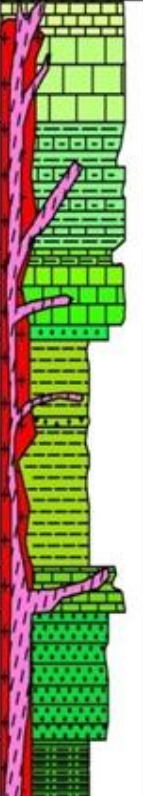
Son susceptibles a la erosión de laderas, los derrumbes y deslizamientos por acción de aguas superficiales y de infiltración.

Figura N°2: Geología regional



FUENTE INGEMMET HOJA 20J-LA UNIÓN

Figura N°3: Columna estratigráfica regional

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	Grosor M.	Columna	Ocurrencias	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	Rocas Ígneas
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Aluvial				Material limo arcilloso con clastos sub angulares polimícticos. Depósitos inconsolidados, compuestos por gravas sub redondeadas polimícticas y tamaños menores a 10 cms de diámetro, en matriz arcillo-limosa. Depósitos situados en las margenes de las quebradas, de forma elongada. Clastos en matriz limo-arcillosa.	<p>Mag-Gz-Feld Stock de Cuarzo Feldespato desarrollo de fenos de ortosa, presencia de cuarzo hialino y plagioclasa euhedrales, presenta alteración los cristales de ortosa</p> <p>Mon-Di Stock Diorítico, desarrollo de plagioclasa, cuarzo menor al 3%, biotita 1%, hornblenda alterada a pirita</p>
			Dep. Fluvio-glaciares					
			Pleist. Dep. Morénicos					
	NEOGENO							
MESOZOICA	CRETACEO	SUP	Fm. CELENDIN	100			Capas delgadas de arcillitas calcáreas marges y calizas.	
			Fm. JUMASHA	300			Calizas grises, con estratos de 1 a 2 metros, su espesor llega hasta los 700 metros.	
		INFERIOR	Fm. PARIATAMBO	500			Margas marrones y negras en estratos delgados a medianos, espesor de 500 metros.	
			Fm. CHULEC	100			Intercalación de calizas y margas de color amarillo cremoso, espesor de 50 metros.	
			Fm. PARIAHUANCA	100			Calizas macizas gris oscuras, con intercalaciones de lutitas, estratos de 1 a 2 m. de grosor, espesor de 100 a 400 m.	
			Fm. FARRAT	35			Franja delgada de areniscas blancas, 20 m. de espesor.	
			Fm. CARHUAZ	1000			Limo-arcillitas gris-verde intercalado con horizontes calcáreos, cuarolita y yeso esporádico, espesor de 400 a 600 metros.	
			Fm. SANTA	150			Calizas grises azuladas, estratos de hasta 1 metro, concreciones de chert color gris oscuro a claro, espesor varía entre 120 a 150 metros.	
			Fm. CHIMU	600			Areniscas blancas macizas, estratos de 1 a 3 metros espesor varía entre 100 a 600 metros.	
			Fm. OYON	200			Lutitas pizarrosas gris oscuras, intercalaciones menores de areniscas blancas.	

FUENTE INGENMET

2.1.3. Rocas Intrusivas

En la zona han sido reconocidos cuerpos menores intrusivos que han sido posteriores a la secuencia sedimentaria cretácica de la Formación Chimú y Formación Oyón, en algunos casos se pueden reconocer fácilmente y en otros casos se encuentra totalmente alterados por alteración hidrotermal (silicificación, argilización,).

Se encuentran generalmente a manera de stocks, apófisis; son de naturaleza pórfido cuarcíferos y dacíticos.

2.1.4. Geología estructural

En esta parte se describen los aspectos estructurales formados durante las diferentes fases de la tectónica Andina. Hay estructuras en la Cordillera Occidental que afectan a las unidades formadas desde el Paleozoico hasta el Mesozoico.

En la zona de estudio se emplaza una secuencia sedimentaria cretácida con basamento en rocas paleozoicas, destacan estructuras plegadas de la formación Chimú con direcciones que van de 330 a 345° con buzamiento subverticales que llegan hasta los 80° hacia el NE.

Las laderas de las montañas tienen una estructura de fuerte pendiente con un rumbo NW-SE (rumbo Andino), los ejes de los pliegues que afectan las formaciones cretácicas y cenozoicas siguen este rumbo principal NW-SE (rumbo Andino).

El principal esfuerzo tuvo una dirección de Suroeste a Noreste, resultando en la generación de pliegues orientados de Noroeste a Sureste, que es la principal tendencia Andina, un campo de esfuerzo con esta orientación es consecuente con el mecanismo de subducción de la corteza oceánica debajo del continente, por lo tanto existen argumentos suficientes para suponer que tal proceso desempeña un rol importante en la evolución tectónica de los Andes.

El mapa litológico estructural regional se elaboró a partir de la Carta Geológica Nacional realizada por la Dirección de Geología Regional.

Para delimitar unidades litológicas se tomó como patrón el tipo de roca predominante agrupándose por el grado de homogeneidad de sus propiedades geotécnicas (rocas y suelo), grado de fracturamiento, de meteorización y resistencia a la erosión, en función de producir movimientos en masa, independientemente de su edad.

De acuerdo a lo mencionado se puede agrupar en dos grandes unidades:

Depositos inconsolidados y Unidades del substrato rocoso.

- Depositos inconsolidados:

Son depósitos como o nada coherentes, de extensión y grosor variable, conformado por una litología heterogénea y heterométrica depositados desde el Pleistoceno hasta la actualidad y se agrupa en función de su origen.

De acuerdo a su origen se clasifican en fluviales, aluviales y proluviales, glaciales, glaciofluviales, coluvio-deluviales, eólicos y marinos.

- Unidades del substrato rocoso

Estas unidades se han podido clasificar agrupando litológicas según su naturaleza diferenciando en la región rocas intrusivas, volcánicas, volcánicas-sedimentarias, sedimentarias y metamórficas, cada grupo puede estar acompañado de un tipo de litología en particular de la cual están compuestas.

La interpretación del carácter litológico (grado de meteorización) y estructural (grado de fracturamiento) de las unidades de roca y suelo se consideró la complejidad estructural y geológica.

Tabla N°2: Litología y susceptibilidad

Unidad		Grado	Clasificación
Depositos inconsolidados	Fluviales, aluviales y proluviales	Baja	1
	Glaciales	Alta	3
	Glaciofluviales	Media	2
	Coluvio-deluviales	Muy alta	4
	Eólicos	Baja	1
	Marinos	Muy baja	0
Rocas intrusivas	Granitos, monzogranitos y aplitas	Media	1
	Tonalitas, granodioritas y dacitas	Alta	3
	Pórfidos, diques y sills de adamelita	Media	2
	Gabros y dioritas	Media	2
Rocas volcánicas	Tobas y aglomerados	Baja	1
	Secuencia lávicas y piroclásticas (aglomerados tufáceos)	Media	2
Rocas volcánicas – sedimentarias	Conglomerados, areniscas y lutitas, lavas andesíticas y tufos	Media	2
Rocas sedimentarias	Calizas y margas	Baja	1
	Areniscas, cuarcitas y lutitas	Muy alta	4
	Lutitas y lodolitas	Media	2
	Areniscas, conglomerados limonitas y arcillitas rojas	Alta	3
Rocas metamórficas	Esquistos, filitas y pizarras	Alta	3

2.2. MARCO LOCAL

La zona de estudio comprende una franja paralela a la cordillera Occidental con rumbo andino NW-SE, conformado por una secuencia de rocas sedimentarias.

2.2.1. Geomorfología

En la zona de estudio se identifica las unidades geomorfológicas que describiremos a continuación:

- Montañas.

Se reconocen como cumbres o laderas que han sido modeladas por procesos erosivos además de la influencia de diferentes eventos de la naturaleza.

En el sector de estudio se han podido identificar los siguientes tipo de montañas:

✓ Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente

Estas muestran pendientes generalmente con taludes que llegan por encima de los 70°, compuestas por rocas de resistencia diferencial a la erosión.

Los movimientos en masa están asociados a caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos y avalanchas de rocas; y también se originan por huaycos o flujos de detritos en áreas con procesos de erosión de laderas.

✓ Montañas con laderas de moderada pendiente

Presentan laderas con pendientes que van entre 15 y 29°, constituídas por rocas sedimentarias, volcánico-sedimentarias, encontrándose distribuidas en la cuenca colindante a las zonas de montaña de fuerte pendiente y montañas estructurales.

Sus relieves se asocian a procesos dominantes de erosión de laderas, caídas de rocas, deslizamientos, movimientos complejos además de huaycos.

✓ Montañas con laderas estructurales

Estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuesto por secuencias estratificadas plegadas y/o buzamientos que controlan la pendiente de las laderas, formando cuestas. Varían en pendiente desde moderada a suave muy abruptas.

Su geodinámica se asocia a caída de rocas, derrumbes, vuelcos, deslizamientos planares, avalanchas de roca y hielo en áreas glaciares, que generan flujos y avalanchas de detritos.

- Piedemontes

Corresponden a geoformas con acumulación de material, en la zona de estudio se pudo identificar las siguientes:

✓ Vertientes de detritos.

Son materiales acumulados en laderas de montañas en forma de detritos de origen coluvial-deluvial de edad reciente, no muestran una geoforma única sino es una mezcla de varios eventos.

Al encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica es homogénea, pero su granulometría es variable y no se encuentra consolidado.

✓ **Depósitos de deslizamiento.**

Son depósitos acumulados por movimientos en masa o remoción por deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, entre otros.

2.2.2. Geología.

El contexto geológico local está enmarcado en un ambiente sedimentario de rocas cretácicas que van en forma paralela a la cadena de los Andes Peruanos (rumbo Andino NW-SE) las rocas presentes son rocas cuarcitas blanquecinas, ortocuarcitas y areniscas cuarzosas intercaladas de lutitas negras, limonitas, argilitas, pizarras y carbón, cortados por cuerpos intrusivos menores a manera de stocks y son los responsables de la mineralización.

Se ha podido ubicar las siguientes formaciones presentes en la zona de estudio:

- **Cretácico inferior**

Formación Oyon (fm. Ki-Oy)

Formado por intercalaciones de cuarcitas, limoareniscas negras, limonitas, argilitas intercaladas con carbón.

Los estratos de limoarenitas tienen potencia menores a un metro.

- **Cretácico inferior – medio**

Grupo Goyllarizuzga (Gpo-Ki-g)

Formado por limolitas y lutitas grises, intercaladas con areniscas calcáreas, variando a areniscas blanquecinas intercaladas con lutitas negras.

En la zona se ha podido observar las formaciones:

Formación Chimú (ki-chi)

Esta compuesta por rocas sedimentarias tipo areniscas cuarzosas, ortocuarcitas, intercaladas con limonitas, lutitas oscuras y carbón.

Formación Santa (Ki-sa)

Esta formada por calizas azul grisáceo meteorizadas con tonos azulados, tienen un espesor que va hasta 1m.

Formación Carhuaz (Ki-ca)

Formado por limoarcillitas a veces intercaladas con areniscas cuarcíferas en la parte central, las limonitas son grises a gris verdoso, esta formación se asemeja a la formación Santa.

Formación Parihuanca o Inca (Ki-ph)

Las calizas que conforman esta formación descansan concordantemente sobre la formación Carhuaz consiste de calizas macizas gris azulado con estratos de hasta 2m de grosor, cuando aflora se puede confundir con las calizas Santa por su semejanza.

- Cuaternario

-Depósitos Antrópicos

Son acumulaciones de materiales poco o nada coherentes de extensión y espesor variable ubicadas en las partes bajas de las laderas de pendientes altas, este material proviene de la actividad realizada por el hombre (depósitos de desmonte de minas).

-Depositos aluviales

Son materiales conformados por una mezcla heterogenea de limo arcilloso con clastos subangulares de origen polimícticos, ubicadas en llanuras aluviales terrazas a diferentes niveles sobre los valles.

-Depositos Coluviales/Deluviales

Son depósitos formados por acción de la gravedad, que se acumulan en las vertientes o márgenes de los valles, estos se reconocen por ser productos de derrumbes y movimientos complejos. Están formados por mezcla de materiales finos como arenas, limo y arcilla, generalmente son sueltos, constituidos de manera caótica al pie de los taludes.

-Depositos fluvioglaciares

Son materiales no consolidados compuestos por grarcas sub redondeadas polimícticas con tamaños menores a 10 cm de diametro, emplazados en una matriz arcillo limosa, estos materiales que han sido acumulados en los cauces de pequeños riachuelos y quebradas.

Depositos morrénicos.

Conformado por materiales situados en márgenes de quebradas en forma elongadas, son clastos en matriz limo-arcillosa

-Rocas intrusivas.

Este tipo de material afloran como stocks, diques, sills apofisis de características hipabisal relacionado a yacimientos hidrotermales. Estos atraviesan la secuencia sedimentaria y en la zona de estudio se reconocio por la alteracion hidrotermal (silicificación y argilización) que presentan.

2.2.3. Geología estructural

En esta parte de secciona los aspectos estructurales formados durante las diferentes fases de la tectonica Andina. Hay estructuras en la Cordillera Occidental que afectan a las unidades formadas desde el Paleozoico hasta el Mesozoico.

En la zona de estudio se emplaza una secuencia sedimentaria cretácica con basamento en rocas paleozoicas, destacan estructuras plegadas de la formación Chimú con direcciones que van de 330 a 345° con buzamiento subverticales que llegan hasta los 80° hacia el NE.

Las laderas de las montañas tienen una estructura de fuerte pendiente con un rumbo NW-SE (rumbo Andino), los ejes de los pliegues que afectan las formaciones cretácicas y cenozoicas siguen este rumbo principal NW-SE (rumbo Andino).

Las unidades de depósitos inconsolidados (coluvio-deluviales) presentan muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de flujos; tambien se pueden producir reactivaciones de deslizamientos, derrumbes y avalanchas de detritos.

Las unidades de depósitos glaciales (morrenas) presentan una susceptibilidad muy alta a la ocurrencia de deslizamientos y movimientos complejos, avalanchas de detritos, así como a la formación de cárcavas y bad-lands (tierra de agricultura fuertemente erosionada por acción fluvial). Es importante destacar su relación con la falla de la cordillera Blanca.

Las unidades aluviales presentan una susceptibilidad baja a moderada a la ocurrencia de derrumbes.

2.2.4. Procesos geodinámicos

- Geodinámica externa

El alcance general de este capítulo es el conocimiento geológico aplicado a la identificación de los peligros geológicos (movimientos en masa).

Las variaciones fisiográficas, climatológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio han jugado un papel importante en la creación y evolución de paisajes, pero en algunos sectores se han identificado zonas de riesgo. Estas zonas de riesgo están relacionadas básicamente a los movimientos en masa que son procesos geodinámicos donde se involucran el desplazamiento o remoción de masas rocosas alteradas y/o de depósitos no consolidados por efecto de la gravedad. Estos procesos están estrechamente relacionados con factores detonantes como lluvias intensas, sismos y modificaciones antrópicas (echaderos de depósitos de desmonte de mina), así como factores condicionantes intrínsecos como litología, pendiente, morfología, cobertura vegetal, entre otros.

Los procesos de movimientos en masa observados en el área de estudio corresponden a desprendimiento y caídas de materiales, grietas originadas por escorrentía de agua superficiales, acumulación de desmontes en laderas de fuerte pendiente en la zona de Mina abandonada San Francisco 2, y a peligros de flujos de detritos, procesos erosivos fluviales.

La pendiente es un factor muy importante en la evaluación de todo tipo de proceso de movimiento en masa, por ello diversos autores consideran a esta variable como fundamental en el análisis de susceptibilidad (Aguilar y Mendoza, 2002; Restrepo y Velásquez, 1997; Mora y Vahrson, 1994). Sin embargo en el análisis de su relación con los movimientos en masa, existen algunas divergencias, por lo tanto no es apropiado generalizarla para todos los ambientes climáticos. Diversos autores coinciden en que las pendientes bajas y altas o muy altas son menos susceptibles a los movimientos en masa.

Las inundaciones y la erosión fluvial ocurren usualmente en terrenos de suave pendiente ($<1^\circ$ y entre 1° y 5°), en consecuencia estos terrenos se consideran de muy alta susceptibilidad a las inundaciones. El siguiente cuadro nos muestra el grado de susceptibilidad a los movimientos en masa.

La geomorfología de la zona de estudio está situado en zonas de fuerte pendiente en las catalogadas montañas con laderas de fuerte pendiente y montañas con laderas estructurales.

Rango	Susceptibilidad	
0° a 1°*	Muy baja a nula	Son poco susceptibles a movimientos en masa, pero son afectadas por eventos originados en las porciones adyacentes y superiores de mayor pendiente.
1° a 5°*	Baja	Son afectadas por eventos que se originan en pendientes más inclinadas), generalmente flujos de detritos o huaycos, principalmente en las vertientes bajas de la cordillera Occidental.
5° a 15°	Media	Laderas con inclinaciones entre 5° y 15° se consideran con susceptibilidad media a los movimientos en masa de tipo reptación y flujos de detritos.
15° a 25°	Alta	Terrenos propensos a reptación de suelos, zonas de inicio frecuente de huaycos y movimientos complejos (deslizamientos-flujos de tierra), algunos derrumbes.
25° a 45°	Muy alta	Son terrenos con muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, siendo más frecuentes los deslizamientos, los derrumbes, las caídas de rocas, también hay zonas de arranque o evolución de huaycos y avalanchas de rocas y detritos. La erosión de laderas también es muy frecuente.
>45°	Media	Suelen presentarse zonas de arranque de avalanchas de rocas, frentes de caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos en zonas montañosas, asociados principalmente a sismos. Taludes de carreteras.

Tabla N°3 Clasificación de pendientes y susceptibilidad

FUENTE INGEMMET.

En la zona de estudio corresponde a la ex unidad minera San Francisco corresponde a montañas de laderas de fuertes pendientes y acumulaciones de depósitos de desmontes en laderas de fuerte pendientes, corresponden a pendientes escarpadas en talud de macizo rocoso, siendo de alto riesgo a los movimientos en masa, siendo los más frecuentes las caídas de rocas, flujos de detritos por parte de las acumulaciones de los depósitos de desmonte en laderas de fuerte pendiente (actividad antrópica).

✓ **Factor litológico y estructural**

La geología es uno de los parámetros más importantes para analizar la susceptibilidad a los movimientos de masa, pero también uno de los más complejos de evaluar, debido a las diferentes asociaciones de rocas que se presentan y que condicionan su competencia geomecánica (fracturamiento) y resistencia (meteorización). Se evalúa tanto el carácter litológico como el estructural.

En la litología se evalúa el tipo de material presente (roca o suelo), sus características físico-mecánicas y químicas, y la composición mineral y textura, las cuales definen el grado de susceptibilidad a los movimientos en masa (Medina, 1991).

Tabla N°4: Susceptibilidad de la litología a los movimientos en masa

Unidades Litológicas	Grado
Aluviales gruesos, permeables, compactos, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Intrusivos poco fracturados, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas y otras sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas, sanas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Características físico-mecánicas (CFM): materiales sanos con poca o ninguna meteorización apreciable, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno.	Baja
Rocas sedimentarias poco o nada alteradas, macizas, poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, metamórficas medianamente alteradas y fisuradas. Sedimentos aluviales poco compactos, con muchos finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias. CFM: Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	Moderada
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, metamórficas mediana a fuertemente alteradas, coluviales, lahares, arenas, suelos residuales levemente compactos, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos. CFM: Resistencia al corte moderada a media, fracturación importante.	Mediana
Sedimentos aluviales, fluvio-lacustres, piroclásticos poco compactados, sectores con alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones hacia la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros. CFM: Resistencia al corte moderado a bajo, con presencia frecuente de arcillas.	Alta
Materiales aluviales, coluviales y residuales de muy baja calidad mecánica, rocas muy alteradas, drenaje pobre. Se incluyen las clases mediana y alta, sometidas a gradientes hidromecánicos elevados y niveles freáticos muy someros. CFM: Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos.	Muy alta

FUENTE: INGEMMET

Para el caso de la ex unidad minera San Francisco, está emplazada en una secuencia sedimentaria de edad cretácica conformada por la Formación Chimú y Oyon conformada por rocas arenisca cuarzosas de color blanquecino, ortocuarcitas, cuarcitas con intercalaciones de lutitas oscuras, limolitas, argilitas y carbón, con fuerte alteración hidrotermal (oxidación, argilización, silicificación) los estratos y fracturas mayores tienen una dirección que varían desde los 330° a 345° con buzamiento subverticales que varían desde los 70° a 80° hacia el NE y según ponderación de la tabla 4, el grado de susceptibilidad a fenómenos de movimiento en masa es de grado alto

CAPITULO III. GEOMECANICA

3.1.REGISTRO GEOMECÁNICO DE LABORES MINERAS

Junto con estas prácticas se encuentra el mapeo geomecánico, la colección de datos geomecánicos exactos y de alta calidad, que son después analizados y utilizados para monitorear y predecir el comportamiento de rocas y suelo dentro de una mina y otro tipo de excavación.

Se realizó el mapeo geomecánica de bocaminas usando el método de Bieniaswski 1989, para poder determinar parámetros de las rocas que componen la labor minera, con estos datos podremos obtener el valor de RMR, siguiendo los parámetros de la roca y su grado de fracturamiento y alteración.

Para este trabajo se utilizaron los siguientes recursos:

- GPS marca Garmin
- Esclerómetro o martillo Schmidt
- Wincha de 5 y 50 m
- Brújula Brunton
- Martillo de geólogo

En los cuadros a continuación se muestran las labores donde se realizaron los trabajos de geomecánica en labores mineras.

Tabla N°5 labores mineras - San Francisco

ID	SUB TIPO DE COMPONENTE	ESTE	NORTE
908	Bocamina	283164	8906146
8485	Bocamina	283133	8905978
8487	Bocamina	283130	8906083
8489	Bocamina	283016	8906140
8492	Bocamina	282806	8906128
8495	Bocamina	282802	8906053
8497	Chimenea	282800	8905963
8518	Bocamina	282893	8906307
8520	Bocamina	282931	8906347
8522	Bocamina	283065	8906335
8528	Chimenea	283230	8906144
14969	Bocamina	283105	8905926
14970	Bocamina	283197	8906048

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El mapeo geomecánico se realizó en las labores mineras encontradas en las diferentes ex unidades mineras (bocaminas), para poder determinar el valor RMR.

El Sistema de Valoración del Macizo Rocoso (RMR), fue desarrollado por Bieniaswski en 1972-1973. El RMR ha tenido éxito, pasando la prueba del tiempo y centenas de casos históricos señalan la aceptación del sistema y su inherente facilidad de uso y versatilidad en la práctica ingenieril.

Los siguientes parámetros son usados para clasificar un macizo rocoso utilizando el Sistema RMR:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.
- Índice de Calidad de la Roca (RQD).
- Espaciado entre discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones de infiltraciones de agua.
- Orientación de las discontinuidades.

Cada uno de estos parámetros reciben una valoración numérica y la sumatoria de las valoraciones resulta en el RMR. De acuerdo con Bieniawski, los macizos rocosos son clasificados en cinco clases y el RMR provee una guía para la selección del sostenimiento para túneles de acuerdo con las siguientes tablas:

Índice de dureza:

Este índice se puede determinar usando un esclerometro o usando el martillo de geologo y un cortaplumas, en la tabla a continuación se muestra la correlación de esta dureza con la compresion uniaxial expresada en MPa.

Tabla N°6 dureza de roca intacta según ISRM

Procedimiento de identificación y rango aproximado de parámetros de resistencia			
Símbolo	Descripción	Características del terreno	Resistencia a compresión uniaxial (MPa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0
R1	Roca muy blanda	Se disgrega al golpe del martillo de geólogo, se talla fácilmente con cuchilla	1.0 – 5.0
R2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una cuchilla, el golpe de martillo le deja pequeñas marcas	5.0 – 25
R3	Roca medianamente dura	No se talla con la cuchilla, puede fracturarse con golpe fuerte del martillo	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere de más de un golpe para fracturarla	50 – 100
R5	Roca muy dura	Se requiere de muchos golpes para fracturarla	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearla con martillo solo saltan esquirlas	> 250

FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Grado de meteorización:**

Representa el grado de meteorización de la roca según la ISRM, usando parámetros de la roca.

Es una observación importante en cuanto condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización, aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia.

Tabla N°7 Clasificación de Grados de Meteorización según ISRM

Grado de meteorización	Término	Descripción
I	Fresca	No hay signos de meteorización de la roca
II	Leve meteorización	La decoloración indica alteración de la roca y de las superficies de discontinuidad. La roca está decolorada por meteorización.
III	Moderada meteorización	Menos de la mitad del macizo aparece descompuesto y/o transformado en suelo, la roca fresca o decolorada aparece como estructura continua o núcleos aislados
IV	Alta meteorización	Más de la mitad del macizo aparece descompuesto y/o transformado en suelo, la roca fresca o decolorada aparece como estructura continua o núcleos aislados
V	Completa meteorización	Todo el macizo aparece descompuesto y/o transformado en suelo, se conserva intacta la estructura original del macizo
VI	Suelo residual	Todo el macizo se ha transformado en suelo, se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

FUENTE: ELABORACION PROPIA

- **Clasificación Geomecánica RMR (1989)**

La siguiente tabla presente el sistema de clasificación geomecánica RMR en la versión de 1989, la cual ha sido usada para dar valor al macizo rocoso de las labores mineras, considerando los parámetros principales, sin tener un ajuste por la orientación de las discontinuidades. Este valor se le considera RMR básico.

Tabla N°8 Clasificación geomecánica de Bieniaswski (1989)

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10 MPa	4 - 8 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50-75%	25-50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		

3	Separación entre diaclasas		> 2m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	0.05 m
	Puntuación		20	15	10	8	5
4	Estado de discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5 mm
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
		Relación Presión de agua/Esfuerzo principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación		15	10	7	4	0

FUENTE: LIBRO INGENIERÍA GEOLÓGICA – LUIS I. GONZALES DE VALLEJO.

Tabla N° 9 Corrección por orientación de diaclasas

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Valor para	Túnel	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

FUENTE: LIBRO INGENIERÍA GEOLÓGICA – LUIS I. GONZALES DE VALLEJO.

Tabla N°10 Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Valoración	81-100	61-80	41-60	21-40	<20

FUENTE: LIBRO INGENIERÍA GEOLÓGICA – LUIS I. GONZALES DE VALLEJO.

- **Registro geomecánico en labores mineras.**

Se realizaron varias estaciones geomecánicas dentro de cada labor minera (bocamina), pudiendo determinar valores de RMR cada cierto tramo (5 a 10 m).

Tabla N°11 Labores mineras - San Francisco

ID	Componente	Condición	Distancia con la entrada (m)	Valor RMR	Calidad RMR
908	Bocamina	Habilitada (sostenimiento hasta 20 m aproximadamente)	55	39	Mala
			60	40	Mala
			65	41	Media
8485	Bocamina	Habilitada, ingreso hay poza con agua 0.30 m aproximadamente	3	38	Mala
8487	Bocamina	Habilitado	1	56	Media
			17	49	Media
			25	57	Media
			35	51	Media
8489	Bocamina	Habilitado, nivel de agua constante, llega hasta 0.35 m en el ingreso.	40	47	Media
			45	49	Media
			50	46	Media
8492	Bocamina	Habilitado, nivel de agua 0.30 m	6	39	Mala
			10	31	Mala
			15	26	Mala
8495	Bocamina	Habilitado hasta los 3 m, cubierto con material de relleno, pendiente negativa 25°	1	31	Mala
8497	Bocamina	Habilitado	3	47	Media
			11	47	Media
8518	Bocamina	Habilitado	4	45	Media
			13	45	Media
			23	41	Media
8520	Bocamina	Habilitado , agua acumulada en el ingreso 0.30 m	10	42	Media
			20	47	Media
			30	47	Media
8522	Bocamina	Cubierta con material parte del ingreso, nivel de agua 0.50 m	1	26	Mala
8528	Bocamina	Cubierta con material	1	27	Mala
14969	Bocamina	Pendiente negativa, llena de agua	1	31	Media
14970	Bocamina	Habilitado con nivel de agua 0.10 m, techo llega a 4.00 m aproximadamente	1	43	Media
			8	43	Media
			21	41	Media

3.2. ANÁLISIS DE CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DE BOCAMINAS.- BIENIASWSKI 1989

Se realizaron varias estaciones geomecánicas dentro de las labores mineras, para poder determinar los valores de RMR propuestos por Bieniaswki, en intervalos.

Tabla N°12 labores mineras - San Francisco

ID	Componente	Condición	Distancia con la entrada (m)	Valor RMR	Calidad RMR	Cohesión kg/cm2	Ángulo de rozamiento °
908	Bocamina	Habilitada (sostenimiento hasta 20 m aproximadamente)	55	39	Mala	19	24.5
			60	40	Mala	2.0	25.0
			65	41	Media	2.0	25.0
8485	Bocamina	Habilitada, ingreso hay poza con agua 0.30 m aproximadamente	3	38	Mala	1.9	23.9
8487	Bocamina	Habilitado	1	56	Media	2.8	32.9
			17	49	Media	2.4	29.2
			25	57	Media	2.8	33.4
			35	51	Media	2.5	30.3
8489	Bocamina	Habilitado, nivel de agua constante, llega hasta 0.35 m en el ingreso.	40	47	Media	2.3	28.2
			45	49	Media	2.4	29.2
			50	46	Media	2.3	27.6
8492	Bocamina	Habilitado, nivel de agua 0.30 m	6	39	Mala	1.9	24.5
			10	31	Mala	1.3	17.6
			15	26	Mala	1.5	20.3
8495	Bocamina	Habilitado hasta los 3 m, cubierto con material de relleno, pendiente negativa 25°	1	31	Mala	1.5	20.3
8497	Bocamina	Habilitado	3	47	Media	2.3	28.2
			11	47	Media	2.3	28.2
8518	Bocamina	Habilitado	4	45	Media	2.2	27.1
			13	45	Media	2.2	27.1
			23	41	Media	2.0	25.0
8520	Bocamina	Habilitado , agua acumulada en el ingreso 0.30 m	10	42	Media	2.1	25.5
			20	47	Media	2.3	28.2
			30	47	Media	2.3	28.2
8522	Bocamina	Cubierta con material parte del ingreso, nivel de agua 0.50 m	1	26	Mala	1.3	17.6
8528	Bocamina	Cubierta con material	1	27	Mala	1.3	18.2
14969	Bocamina	Pendiente negativa, llena de agua	1	31	Media	1.5	20.3
14970	Bocamina	Habilitado con nivel de agua 0.10 m, techo llega a 4.00 m aproximadamente	1	43	Media	2.1	26.1
			8	43	Media	2.0	25.0
			21	41	Media	2.1	26.1

En el anexo B, se detallan las hojas con la evaluación geomecánica realizada en las diferentes labores mineras.

1.4.VALORES DE RESISTENCIA OBTENIDO CON MARTILLO SCHMIDT.

Se realizaron ensayos de resistencia con el esclerometro o martillo Schmidt de lo cual podemos determinar lo siguiente:

Tabla N°13 Valores de resistencia

Labor minera	Profundidad	Rebote promedio	Resistencia en Mpa
908	55	26	27.5
	60	25	26.3
	65	28	30.1
8485	65	28	30.1
8487	1	32	36.1
	17	32	36.1
	25	30	33.0
	35	36	43.2
8489	40	34	39.5
	45	32	36.1
	50	28	30.1
8492	6	26	27.5
	10	22	23.0
	13	27	28.8
8495	1	19	20.1
8497	3	37	45.2
	11	37	45.2
8518	4	29	31.5
	13	29	31.5
	23	25	26.3
8520	10	30	33.0
	20	28	30.1
	30	33	37.7
8522	1	24	25.2
8528	1	20	21.0
14969	1	26	27.6
14970	1	26	27.6
	8	27	28.8
	21	30	33.0

1.5.MAPEO GEOMECÁNICO A LABORES MINERAS

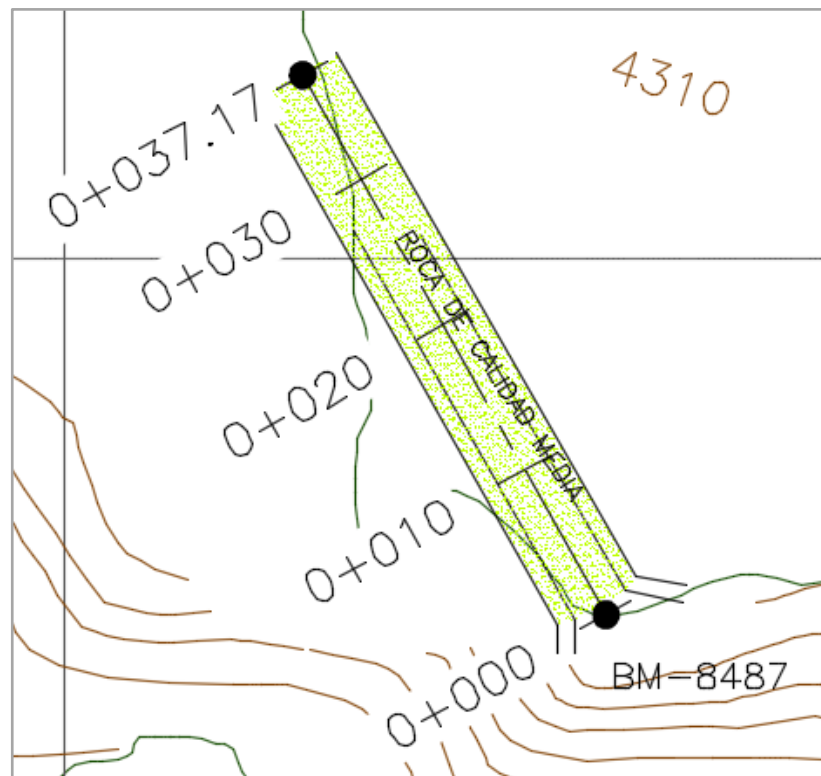
Es aquel que contiene información geológica- geotécnica de parámetros que afectan al macizo rocoso y que pueden o no generar inestabilidad en las labores mineras.

El mapeo Geomecánica contiene la caracterización geotécnica de la roca de acuerdo a la clasificación Geomecánica correspondiente, pero, además debe contener información de tipo estructura, información de prospección Geomecánica, información de mecánica de rocas, monitoreo, controles, entre otros

El resultado del mapeo Geomecánica debe servir para recomendar un tipo de excavación ideal que no produzca inestabilidad

De los mapeos geomecánicos realizados se muestra algunas imágenes de labores y su condición geomecánica actual.

Figura N° 4 Bocamina 8487



Bocamina 8487, la labor presenta una roca de calidad media, hasta los 35 m aproximadamente.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO

A continuación se presenta cuadros con resumen de los ensayos realizados en el laboratorio para determinar parámetros de los diferentes materiales.

4.2.RESIDUOS MINEROS

De los residuos mineros encontrados se detallan los siguientes componentes de los cuales se hicieron ensayos.

Tabla N°14 ensayos de laboratorio en residuos mineros – San Francisco 2

ID	Componente	Ensayos												
		Corte directo		Carga puntual			Ensayo triaxial		Límites de Atterberg			granulometría		
		ϕ (°)	c (MPa)	$ls_{50} \perp$ (MPa)	$ls_{50} //$ (MPa)	ls_{50} (MPa)	ϕ (°)	c (kPa)	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)	Grava	Arena	Finos
909	Desmante de mina						36.6	5.5						
8486	Desmante de mina			3.9			36.2	8.2						
8496 D	Desmante de mina	35.56	0.141				36.1	6.0				45.6	35.6	18.8
8496 S	Suelo cerca de desmante de mina						31.4	11.6						
8498 D	Desmante de mina						38.0	3.3				65.9	23.1	11.0
8498 S	Suelo cerca de desmante de mina	34.84	0.016				28.9	11.7	39.3	26.1	11.8	13.8	20.7	65.5
8517 D	Desmante de mina						34.5	6.4	28.5	19.8	8.7	60.0	27.9	12.1
8517 S	Suelo cerca de desmante de mina						36.6	7.7						
8529	Desmante de mina													
15015	Desmante de mina											62.6	12.6	24.8
15016 D	Desmante de mina						37.8	5.2	25.2	18.3	7.0	84.6	11.4	4.0

ID	Componente	Ensayos												
		Corte directo		Carga puntual			Ensayo triaxial		Límites de Atterberg			granulometría		
		ϕ (°)	c (MPa)	$ls_{50} \perp$ (MPa)	$ls_{50} //$ (MPa)	ls_{50} (MPa)	ϕ (°)	c (kPa)	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)	Grav a	Aren a	Fino s
15016 S	Suelo cerca de desmonte						31.4	7.4	43.1	31.0	12.2	22.0	36.4	41.6
15017	Desmonte de mina											99.7	-	0.3
15019	Desmonte de mina											26.2	51.1	22.7

4.3. LABORES MINERAS

De las labores mineras encontradas se detallan los siguientes componentes de los cuales se hicieron ensayos de carga puntual.

Tabla N°15 ensayos de laboratorio en labores mineras – San Francisco 2

ID	Componente	Ensayo		
		Carga puntual		
		$ls_{50} \perp$ (MPa)	$ls_{50} //$ (MPa)	ls_{50} (MPa)
908	Bocamina	2.7	-	-
8487	Bocamina	7.8	3.5	2.2
8489	Bocamina	0.8	-	-
8497	Chimenea	4.1	1.7	2.4
8518	Bocamina	2.1	-	-
8520	Bocamina	1.5	-	-
8522	Bocamina	8.7	-	-
8528	Chimenea	4.3	-	-
14969	Bocamina	0.7	-	-
14970	Bocamina	5.8	-	-

FUENTE: PROPIA

CONCLUSIONES

- Para la elaboración del presente informe se llevo a cabo un programa de investigaciones de geomecanica para poder evaluar las diferentes características de los pasivos ambientales mineros (PAM).
- La zona de estudio se encuentra emplazada en rocas del Chimú, conformadas por areniscas estratificadas, ortocuarcitas, intercaladas con limonitas lutitas oscuras y carbón, cubiertas con un material cuaternario (depósitos antrópicos, aluviales, fluvioglaciares y morrénicos).
- La labor minera de la unidad evaluada (San Francisco) sus características geomecánicas son de una calidad media a baja (RMR menor a 60).
 - ✓ Los valores del índice de resistencia a la carga puntual aplicada a la matriz de las muestras de roca ensayadas dan valores desde 1 hasta 9 MPa, estos valores confirman la mala calidad del macizo rocoso de las labores mineras.

RECOMENDACIONES.

- Las bocaminas se deben evaluar para usar un tapón adecuado, donde no halla flujo de agua debe ser sellado herméticamente, donde hay acumulación de agua o flujo constante se debe tener algún sistema de drenaje para evitar problemas posteriores con la acumulación de esta y problemas en el tapón y la estructura colindante.

BIBLIOGRAFIA

- Bieniaswki, Z.T.(1989) Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley, New York.
- E. Hoek, “Practical rock engineering” Rocscience, 2002.
- fonamperu.org.pe/pasivos-ambientales/
- Geología - Cuadrangulo Huaraz 20h Recuay 20i La Unión 20j Chiquián 21i y Yanahuanca 21j – INGEMMET.
- <https://es.scribd.com/doc/299852194/GEOMECANICA-APLICADA-PARA-EL-SOSTENIMIENTO-DE-LA-MINA-RICOTONA-pdf>
- Informe geológico y peligros geológicos San Francisco - DIANOIA CONSULTING.
- Informe de evaluación geotécnica para el plan de cierre de pasivos ambientales mineros ex unidad minera San Francisco 2 - DIANOIA CONSULTING.
- Informe geológico y peligros geológicos San Francisco - DIANOIA CONSULTING.
- Riesgos geológicos en la región Ancash 2009 – INGEMMET

ANEXOS

ANEXO A

- GEOMECANICA

ANEXO B

- LABORATORIO

ANEXO C

- PLANOS

ANEXO D

- PANEL FOTOGRAFICO